

BREVET D'INVENTION

FR 00/02471

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 13 SEP. 2000

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

DOCUMENT DE
PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA REGLE
17.1.a) OU b)

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS Cédex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04
Télécopie : 01 42 93 59 30



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réservé à l'INPI DATE DE REMISE DES PIÈCES 7 SEPT 1999 N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL 991117 DÉPARTEMENT DE DÉPÔT 75 INPI PARIS DATE DE DÉPÔT 7 Sept 1999		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE CABINET BRUDER 46, rue Decamps 75116 PARIS									
2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle <input checked="" type="checkbox"/> brevet d'invention <input type="checkbox"/> demande divisionnaire <input type="checkbox"/> certificat d'utilité <input type="checkbox"/> transformation d'une demande de brevet européen <input type="checkbox"/> demande initiale <input type="checkbox"/> brevet d'invention <input type="checkbox"/> certificat d'utilité n° Établissement du rapport de recherche <input type="checkbox"/> différé <input checked="" type="checkbox"/> immédiat Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Titre de l'invention (200 caractères maximum) PROCEDE ET DISPOSITIF DE TRAITEMENT EN CONTINU DE MINERAUX SULFURES DE CUIVRE.		n° du pouvoir permanent BRG-FR-104 GP/DL références du correspondant 01.40.72.27.72 téléphone date									
3 DEMANDEUR (S) n° SIREN : code APE-NAF : Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination 1)- BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES - B.R.G.M. - 2)- UNIVERSITE DE WARWICK 3)- Société HENKEL 4)- MINERAL INDUSTRY RESEARCH ORGANISATION - M I R O -		Forme juridique Ets public à caractère Industriel et Commercial Société allemande									
Nationalité (s) 1)- Française ; 2) et 4) Anglaise ; 3) allemande											
Adresse (s) complète (s) 1)- Tour Mirabeau - 39/43 Quai André Citroën 75739 PARIS CEDEX 15 2)- Department of Biological Sciences - Gibbet Hill - COVENTRY CV4 7AL 3)- Henkelstrasse 67 - D-40191 DUSSELDORF 4)- 13 Chipping Hill - Witham, ESSEX - CM8 2DE		Pays France Grande-Bretagne Allemagne Grande-Bretagne									
En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre <input type="checkbox"/>											
4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non Si la réponse est non, fournir une désignation séparée											
5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES <input type="checkbox"/> requise pour la 1ère fois <input type="checkbox"/> requise antérieurement au dépôt ; joindre copie de la décision d'admission											
6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE <table border="1"> <thead> <tr> <th>pays d'origine</th> <th>numéro</th> <th>date de dépôt</th> <th>nature de la demande</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>				pays d'origine	numéro	date de dépôt	nature de la demande				
pays d'origine	numéro	date de dépôt	nature de la demande								
7 DIVISIONS antérieures à la présente demande n° date n° date											
8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (nom et qualité du signataire) PUIROUX Guy Mandataire agréé n° 93-3015		SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI									

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

DIVISION ADMINISTRATIVE DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Petersbourg

75800 Paris Cédex 08

Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

9911178

BRG-104

TITRE DE L'INVENTION : PROCÉDE ET DISPOSITIF DE TRAITEMENT EN CONTINU DE MINÉRAUX
SULFURES DE CUIVRE.

LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

CABINET BRUDER
46, rue Decamps
75116 PARIS

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

MORIN Dominique (B.R.G.M.) de nationalité française

Tour Mirabeau - 39/43 Quai André Citroën - 75739 PARIS CEDEX 15 - FRANCE -

NORRIS Paul (Université de WARWICK) de nationalité anglaise
Department of Biological Sciences - Gibbet Hill -
COVENTRY CV4 7AL - GRANDE-BRETAGNE

KOPPL Dietger (Société HENKEL) de nationalité allemande
Henkelstrasse 67 - D-40191 DUSSELDORF - ALLEMAGNE -

SCHWAB Werner (Société HENKEL) de nationalité allemande
Henkelstrasse 67 - D-40191 DUSSELDORF - ALLEMAGNE -

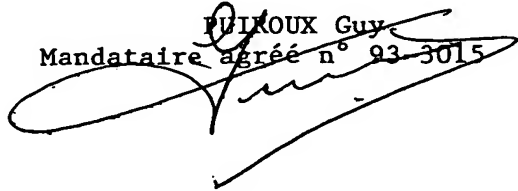
BONNEY Christopher (M I R O) de nationalité anglaise
13 Chipping Hill
Witham, ESSEX - CM8 2DE
GRANDE-BRETAGNE

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance)
lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

Paris, le 7 septembre 1999

Mandataire agréé n° 93-3015

PUJOLUX Guy


DOCUMENT COMPORTANT DES MODIFICATIONS

PAGE(S) DE LA DESCRIPTION OU DES REVENDECATIONS OU PLANCHE(S) DE DESSIN			R.M.*	DATE DE LA CORRESPONDANCE	TAMPON DATEUR DU CORRECTEUR
Modifiée(s)	Supprimée(s)	Ajoutée(s)			
† 2				26, 10, 99	EML / 28 Oct 1999

Un changement apporté à la rédaction des revendications d'origine, sauf si celui-ci découle des dispositions de l'article R.612-36 du code de la Propriété Intellectuelle, est signalé par la mention «R.M.» (revendications modifiées).

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de traitement en continu de minéraux sulfurés de cuivre en vue de la récupération de ce dernier.

On a décrit abondamment, dans l'état antérieur de la technique, des procédés de ce type au cours desquels, lors d'une première étape de biolixiviation, on fait agir sur des minéraux, des bactéries de type divers qui assurent la destruction de la matrice sulfurée emprisonnant un métal déterminé, par dissolution de cette matrice, ce qui a pour effet de mettre en solution le métal concerné. Dans une seconde étape de traitement, on récupère le métal contenu dans cette solution en intervenant sur celle-ci, notamment par voie chimique et/ou électrochimique.

La présente invention a pour but de proposer un procédé visant à la récupération du cuivre contenu dans des minéraux sulfurés, comprenant une première étape de biolixiviation en continu, et ce par utilisation d'une nouvelle culture bactérienne thermophile, de type Sulfolobus.

La présente invention a ainsi pour objet un procédé de traitement en continu de minéraux sulfurés de cuivre comprenant une étape de biolixiviation au cours de laquelle les minéraux sont soumis, dans des réacteurs disposés en cascade, à l'action d'une culture bactérienne conduisant à la mise en solution du cuivre, caractérisé en ce que, lors de cette étape de biolixiviation :

- on utilise une culture bactérienne qui comprend une bactérie thermophile de type dit Sulfolobus,
- on maintient la température dans les réacteurs à une valeur comprise entre 75°C et 85°C,

- on soumet à une agitation mécanique continue le milieu contenant la culture bactérienne, de façon à assurer son oxygénation et une mise en suspension des éléments solides.

5 La culture bactérienne utilisée est une nouvelle culture qui est en fait un mélange de bactéries en mesure de catalyser l'oxydation des sulfures et qui présente une température optimale de croissance comprise entre 75°C et 85°C.

10 Préféablement on fournit les minéraux sulfurés au milieu de culture sous la forme d'un concentré sulfuré possédant une granulométrie d80 inférieure à cent micromètres.

15 On décrira ci-après, à titre d'exemple non limitatif, une forme d'exécution de la présente invention, en référence au dessin annexé sur lequel :

La figure unique représente de façon schématique les différentes étapes du procédé suivant l'invention.

20 Dans un mode de mise en oeuvre de l'invention la culture bactérienne a été progressivement adaptée afin d'améliorer sa tolérance au cuivre. Une telle adaptation a été réalisée par des repiquages successifs sur un substrat de chalcopryrite, au cours desquels on a augmenté progressivement et artificiellement les concentrations du

25 cuivre en solution. Une telle adaptation a permis de rendre ces bactéries capables de se développer dans des milieux dont la concentration en cuivre est de l'ordre de 50 g/l.

Suivant l'invention les bactéries sont mises en culture dans des réacteurs 1 agités et aérés et qui sont alimentés

de façon continue en minéraux sulfurés mis à l'état de pulpe. Cette pulpe est transférée d'un réacteur à l'autre par débordement. Le milieu de culture, qui est constitué par les minéraux sulfurés et la culture bactérienne, est
5 alimenté en éléments nutritifs, qui sont indispensables à la croissance des micro-organismes de la culture, dont les concentrations ont été optimisées afin de permettre une bonne croissance de celle-ci.

Bien entendu les réacteurs peuvent être disposés
10 suivant une autre configuration qu'en cascade et le transfert de la pulpe d'un réacteur à l'autre peut être effectué par d'autres moyens qu'un débordement, et notamment par des moyens de pompage qu'ils soient mécaniques ou à effet de gaz porteur (systèmes dits « Air lift »)

15 On sait par ailleurs, de par l'état antérieur de la technique, que la constitution biologique des membranes externes des bactéries thermophiles est telle que ces bactéries se révèlent relativement fragiles quant aux contraintes physiques d'attrition qu'elles sont susceptibles
20 d'avoir à subir et qui sont liées à la présence de particules solides en solution lorsque les taux de solide (exprimés en pourcentage massique) sont supérieurs à 1%.

On sait également que ces bactéries sont sensibles aux contraintes de cisaillement qu'elles subissent notamment
25 lorsqu'elles se trouvent en présence de moyens d'agitation mécaniques.

Suivant l'invention, la culture bactérienne a également été soumise à une adaptation destinée à augmenter le pourcentage de taux de solide utilisé. Pour ce faire on a

augmenté, par paliers successifs, les taux de solide de la solution mise en présence de la culture bactérienne, et les bactéries ont été en mesure de supporter des taux de solide massique de l'ordre de 10% à 15%.

5 On sait que la mise en oeuvre d'un tel processus nécessite une oxygénation du milieu de culture qui, dans le cas présent, sera assurée par une injection d'air en fond de cuve. Dans le cas où, en cours de processus, la concentration en oxygène dissous viendrait à se trouver
10 insuffisante, on pourrait enrichir en oxygène pur l'air injecté de façon à améliorer le transfert de l'oxygène vers la solution et favoriser ainsi l'oxydation du substrat minéral sulfuré. Cet air injecté pourra également être enrichi en dioxyde de carbone qui constitue le substrat
15 carboné de ce type de bactéries.

L'agitation à laquelle est soumise la culture bactérienne en cours de réaction est une agitation mécanique qui est obtenue à l'aide d'un moteur électrique relié à un axe rotatif vertical pourvu d'éléments dits « mobiles
20 d'agitation ». Un premier mobile d'agitation dénommé « turbine » est disposé en position basse de l'arbre et est constitué de façon connue d'un disque dont la face inférieure comporte de multiples plaquettes radiales qui, lors de la rotation du disque, assurent une action de
25 cisaillement provoquant la dispersion de l'air injecté dans la culture bactérienne. Le second élément mobile est disposé en partie haute du réacteur et est constitué d'une hélice. Cet élément mobile présente de bonnes caractéristiques de pompage et favorise ainsi le mélange et l'homogénéisation du

milieu de culture. L'homme du métier saura comment optimiser de tels moyens d'agitation, de façon à assurer un développement optimal de la culture bactérienne.

On a constaté que, de façon surprenante, la culture
5 bactérienne thermophile utilisée était ainsi en mesure de résister à des moyens d'agitation relativement énergiques et à fort effet de cisaillement.

Par ailleurs, en fonction de la nature du substrat minéral utilisé, on fera en sorte de maintenir le pH du
10 milieu de culture à une valeur préféablement comprise entre 1,2 et 1,6, et ceci par une bonne maîtrise des diverses conditions opératoires. On notera cependant que la valeur du pH pourra être régulée, notamment en cas de chute de celui-ci, à des valeurs inférieures à 1,2, par addition contrôlée
15 de carbonate de calcium, dont la dissolution apportera par ailleurs du dioxyde de carbone.

Afin de réduire les pertes en eau dues à l'évaporation dans les réacteurs, pouvant se traduire par une augmentation non contrôlée de la concentration des éléments en solution
20 susceptible de perturber le développement de la culture, on utilisera des réacteurs fermés dans lesquels le flux d'air sortant traversera des moyens de condensation. Si ces pertes ne sont pas réduites ainsi suffisamment on pourra effectuer soit une adjonction d'eau ponctuelle soit réaliser une
25 alimentation en solution nutritive sans ajout de concentré et ceci pendant une période de temps adaptée à la perte d'eau constatée.

Dans un mode de mise en oeuvre particulièrement intéressant de l'invention on pourra utiliser un système de

condensation destiné à orienter le flux d'air pour mettre en place des moyens d'analyse en ligne des gaz sortant des réacteurs. Ces moyens pourront ainsi permettre d'obtenir, en temps réel, des renseignements sur l'état de la culture bactérienne et d'assurer ainsi un suivi complet du dispositif de traitement.

La première étape du procédé de traitement suivant l'invention, à savoir l'étape de biolixiviation, étant terminée on obtient, en sortie des réacteurs, une pulpe qui contient, outre le cuivre en solution que l'on souhaite isoler, à une concentration d'environ 40g/l, des produits chimiques divers, qui se trouvent soit dissous dans la phase liquide, soit sous forme solide et notamment le résidu de minéral non dégradé, du gypse et des hydroxydes de fer ferrique.

Les étapes suivantes du procédé consisteront donc tout d'abord, au cours d'une étape intermédiaire, à séparer ces divers composants afin d'extraire, au cours d'une étape ultérieure d'électrolyse, le cuivre métal de la solution purifiée.

Au cours de cette étape intermédiaire on éliminera tout d'abord le fer. Pour cela on admet la pulpe, issue de la batterie 1 de réacteurs de biolixiviation, dans une batterie 5 de plusieurs réacteurs dans lesquels on introduit en 6 de la calcite. On sait en effet que le fer qui est majoritairement disponible sous sa forme oxydée Fe^{3+} est neutralisé par la calcite qui provoque une précipitation de composés de type jarosite (c'est-à-dire un précipité

contenant du fer, du sulfate, et un contre cation pouvant être H_3O^+ , Na^+ , K^+ , ou NH_4^+) d'hydroxydes et de gypse.

Or on sait que la précipitation de jarosite, qui est particulièrement intéressante, puisque d'une part elle permet une moindre consommation de calcite et d'autre part les précipités solides obtenus possèdent des facilités de filtration beaucoup plus intéressantes que les composés de type hydroxyde, est grandement favorisée par une température relativement élevée (ce qui est le cas de la pulpe issue de la biolixiviation) et que ce type de précipité est stable aux pH faibles (inférieurs à 3). On contrôlera donc le pH dans les réacteurs afin de le maintenir à une valeur inférieure à 2,8 et ceci par le contrôle de l'addition de calcite.

L'installation comprendra, en aval de la batterie 5 dans les réacteurs de laquelle précipite la jarosite, un décanteur 7 qui possède une sortie 8 reliée à l'entrée 4 de la batterie 5 et qui permet de faire recirculer une partie des solides « en tête de neutralisation » si bien que, par germination, on favorisera la croissance de cristaux. On améliore ainsi non seulement les vitesses de croissance des minéraux mais également la caractéristique de bonne capacité à la filtration des solides. Il s'agit là de paramètres particulièrement intéressants dans une installation industrielle car ils interviennent directement sur le dimensionnement et donc sur le coût de celle-ci.

Le reste du fer en solution est ensuite éliminé, sous forme d'hydroxydes, au moyen d'une batterie 11 constituée de réacteurs de neutralisation, disposée en aval du décanteur

7, dans laquelle on maintient un pH de 3,5 par addition en 12 de calcite, de façon à n'entraîner par coprécipitation qu'un minimum de cuivre. Un système de filtre à bande 13 recueille la pulpe en sortie 10 de la batterie 11 et permet
5 d'assurer une séparation solide/liquide.

Un tel système de filtration est constitué de façon connue, d'une bande sur laquelle la pulpe est admise et qui est tendue entre des tambours qui assurent son entraînement en rotation. Des moyens d'aspiration sont appliqués à
10 travers la bande et l'on obtient un gâteau d'épaisseur croissante au cours du déplacement de celles-ci, qui est extrait en 14 après qu'il ait subi une ou plusieurs opérations de lavage.

Cette solution est envoyée ensuite en 16 dans une unité
15 d'extraction par solvant organique 17. On sait qu'une telle unité est formée de plusieurs mélangeurs/décanteurs dans lesquels on introduit la solution à traiter, un mélange constitué de produits extractants spécifiques et d'un diluant. En raison de l'affinité différente du cuivre pour
20 la phase aqueuse et pour la phase organique qui dépend des conditions opératoires, il est possible (sous des conditions opératoires déterminées) de transférer le cuivre dans la phase organique puis, en changeant les conditions opératoires (mise en contact de la phase organique avec une
25 solution aqueuse riche en acide sulfurique), de ramener le cuivre dans une solution aqueuse pure de façon à pouvoir assurer ensuite la récupération du cuivre métal par électrolyse. Au cours de cette opération on a éliminé les

impuretés pouvant polluer les cathodes lors de l'électrolyse.

On utilisera préférentiellement, en tant que produit extractant, un réactif commercialisé par la Société HENKEL
5 sous la marque « LIX ».

On notera cependant que l'extraction sélective du cuivre avec les produits extractants étant une réaction chimique d'échanges entre proton et cation, il en résulte que , pour chaque ion cuivreux extrait, deux protons sont
10 libérés par le produit extractant. Cette production d'acide entraîne une décroissance du pH dans la phase aqueuse (raffinat). Or, en raison des taux de solide importants de la pulpe issue de l'étape de biolixiviation, la quantité de cuivre en solution est élevée et la masse d'acide ainsi
15 générée lors de l'extraction induit une décroissance du pH jusqu'à des valeurs qui entravent l'extraction, voire qui la rendent impossible. Il est donc nécessaire de faire en sorte que le pH soit maintenu à une valeur compatible avec celle autorisant l'extraction.

20 Par ailleurs on a constaté que la première étape du procédé, à savoir l'étape de biolixiviation, délivre une pulpe possédant une concentration en cuivre importante, voisine de 40 g/l, et l'on sait que l'opération d'extraction ne permet d'extraire que des concentrations en cuivre de
25 l'ordre de 10 g/l à ces valeurs de pH.

On pourrait bien entendu travailler à des taux de solide moins élevés lors de l'étape de biolixiviation, mais de tels moyens de traitement imposeraient alors, pour une quantité de cuivre produite identique, de disposer de

réacteurs de biolixiviation de volume beaucoup plus important, ce qui aurait pour inconvénient d'augmenter la complexité, l'encombrement et le coût de l'installation.

On décrira ci-après en regard de la figure unique un mode de mise en oeuvre de l'invention qui représente une première solution permettant de pallier ces inconvénients.

Dans ce mode de mise en oeuvre, la sortie 19 de l'unité d'extraction 17 est mise en communication avec l'entrée 4 de la batterie 5, de façon à faire recirculer une partie du raffinat recueilli à cette sortie 19 en lui faisant traverser de nouveau la batterie 5. Ainsi, au passage dans celle-ci, l'ajout de calcite qui est effectué en 6 a pour effet d'augmenter le pH de la solution, de façon à compenser la baisse de celui-ci due à l'émission des ions H^+ lors de l'extraction. Par ailleurs, en ajustant le débit de recirculation Q2, qui est important par rapport au débit Q1 de la pulpe admise dans la batterie 5 en provenance de la batterie de biolixiviation 1, on provoque une dilution de la solution aqueuse soumise à extraction, jusqu'à une concentration de l'ordre d'environ 10 g/l, c'est-à-dire jusqu'à une valeur correspondant à l'extraction possible dans une unité d'extraction 17.

Ce mode de mise en oeuvre est particulièrement intéressant dans la mesure où il permet d'assurer l'extraction du cuivre à partir d'une pulpe à haute concentration en cuivre en utilisant une seule unité d'extraction et sans mise en oeuvre supplémentaire de dispositifs destinés à élever le pH.

Dans un second mode de mise en oeuvre de l'invention, on n'effectuera pas de recirculation d'une partie du raffinat, et on disposera de moyens successifs permettant d'une part d'élever le pH de la solution après extraction, et d'autre part d'extraire cette solution de pH modifié, et ce jusqu'à avoir extrait les 40 g/l de cuivre contenus dans la solution de départ.

Il restera ensuite à mettre en oeuvre la dernière étape du procédé suivant l'invention au cours de laquelle, dans une cellule électrolytique 20, on effectuera l'électrolyse du raffinat récupéré en fin d'extraction afin de récupérer le cuivre métal.

REVENDEICATIONS

1.- Procédé de traitement en continu de minéraux sulfurés de cuivre comprenant une étape de biolixiviation au cours de laquelle les minéraux sont soumis, dans des réacteurs (1) disposés en cascade, à l'action d'une culture bactérienne conduisant à la mise en solution du cuivre, caractérisé en ce que, lors de cette étape de biolixiviation :

- on utilise une culture bactérienne qui comprend une bactérie thermophile de type dit Sulfolobus,
- on maintient la température dans les réacteurs (1) à une valeur comprise entre 75°C et 85°C,
- on soumet à une agitation mécanique continue le milieu contenant la culture bactérienne, de façon à assurer son oxygénation et une mise en suspension des éléments solides.

2.- Procédé suivant la revendication 1 caractérisé en ce que l'on maintient, lors de l'étape de biolixiviation, un taux de solide massique du milieu de culture supérieur à 10%.

3.- Procédé suivant l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'on fournit les minéraux sulfurés au milieu de culture sous la forme d'un concentré sulfuré possédant une granulométrie d80 inférieure à cent micromètres.

4.- Procédé suivant l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la culture bactérienne utilisée a été préalablement soumise à une adaptation, par repiquages successifs sur un substrat, notamment de

chalcopryrite, en augmentant progressivement et artificiellement les concentrations du cuivre en solution, afin de l'amener à être apte à se développer dans des milieux dont les concentrations massiques en cuivre sont de
5 l'ordre de 50g/l.

5.- Procédé suivant l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'on entretient dans les réacteurs de biolixiviation (1) un pH compris entre 1,2 et 1,6.

10 6.- Procédé suivant la revendication 5 caractérisé en ce que le maintien du pH à la valeur souhaitée est obtenu par ajout de carbonate de calcium.

15 7.- Procédé suivant l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que tout au long de la première étape, on contrôle l'état physiologique de la culture bactérienne, à l'aide de moyens d'analyse en ligne des gaz sortant des réacteurs.

8.- Procédé suivant l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la première étape de
20 biolixiviation est suivie d'une seconde étape au cours de laquelle, dans un premier temps :

- on admet la pulpe issue des réacteurs de biolixiviation (1) dans des réacteurs de précipitation (5) dans lesquels on élimine le fer en provoquant une
25 précipitation de jarosite par ajout de calcite et un
maintien de la solution à un pH inférieur à 3,

- on admet la pulpe neutralisée dans un décanteur (7) et on fait recirculer une partie des solides en tête des réacteurs de précipitation (5).

9.- Procédé suivant la revendication 8 caractérisé en ce que, dans un second temps :

- on admet le liquide issu du décanteur (7) dans des réacteurs de neutralisation (11) dans lesquels on maintient un pH de l'ordre de 3,5, notamment par un ajout de calcite, de façon à n'entraîner qu'un minimum de cuivre,

- on procède à la filtration de la pulpe obtenue.

10.- Procédé suivant la revendication 9 caractérisé en ce que, dans un troisième temps :

10 - on admet la phase aqueuse du liquide provenant de la filtration dans une unité d'extraction par solvant organique (17) dans laquelle on la soumet à l'action d'un produit extractant, de façon à transférer le cuivre de la phase aqueuse dans la phase organique,

15 - on modifie les conditions opératoires de façon à transférer le cuivre de la phase organique du produit extractant dans une phase aqueuse pure.

11.- Procédé suivant l'une des revendications 8 à 10 caractérisé en ce que l'on met la sortie (19) de l'unité d'extraction (17) en communication avec l'entrée (4) des réacteurs de précipitation (5), de façon à faire recirculer une partie du raffinat recueilli à cette sortie (19) en lui faisant traverser de nouveau lesdits réacteurs (5) avec un débit (Q2) important par rapport au débit (Q1) de la pulpe provenant des réacteurs de biolixiviation (1), de façon à provoquer une dilution de la solution aqueuse soumise à extraction, jusqu'à une concentration en cuivre de l'ordre d'environ 10 g/l, c'est-à-dire jusqu'à une valeur

correspondant à l'extraction possible du cuivre dans une unité d'extraction (17).

12.- Dispositif de traitement en continu de minéraux sulfurés de cuivre du type comportant des moyens de biolixiviation (1) dans lesquels les minéraux sont soumis à l'action d'une culture bactérienne conduisant à la mise en solution du cuivre, à une concentration importante, de l'ordre de 40g/l, suivis des moyens de précipitation (5) du fer contenu dans cette solution, par ajout de carbonate de calcium, suivis de moyens d'extraction par solvant organique (17) caractérisé en ce que la sortie (19) des moyens d'extraction par solvant (17) est en communication avec l'entrée (4) des moyens de précipitation (5), de façon à faire recirculer une partie du raffinat recueilli à cette sortie (19) en lui faisant traverser de nouveau les moyens de précipitation (5) avec un débit (Q2) important par rapport au débit (Q1) de la solution en sortie des moyens de biolixiviation (1), de façon à provoquer une dilution de la solution aqueuse soumise à extraction, jusqu'à une concentration en cuivre inférieure à celle existant en sortie des moyens de biolixiviation (1) et préférablement de l'ordre de 10g/l.

13.- Dispositif suivant la revendication 12 caractérisé en ce que les réacteurs utilisés lors de l'étape de biolixiviation comportent des moyens permettant de canaliser le fluide gazeux qui les traverse vers des moyens de condensation.

- on soumet à une agitation mécanique continue le milieu contenant la culture bactérienne, de façon à assurer son oxygénation et une mise en suspension des éléments solides.

La culture bactérienne utilisée est une nouvelle culture
5 qui est en fait un mélange de bactéries en mesure de catalyser l'oxydation des sulfures et qui présente une température optimale de croissance comprise entre 75°C et 85°C.

Dans un mode de mise en oeuvre de l'invention on maintient, lors de l'étape de biolixiviation, un taux de
10 solide massique du milieu de culture supérieur à 10%.

Préférentiellement on fournit les minéraux sulfurés au milieu de culture sous la forme d'un concentré sulfuré possédant une granulométrie d80 inférieure à cent micromètres.

On décrira ci-après, à titre d'exemple non limitatif, une
15 forme d'exécution de la présente invention, en référence au dessin annexé sur lequel :

La figure unique représente de façon schématique les différentes étapes du procédé suivant l'invention.

Dans un mode de mise en oeuvre de l'invention la culture
20 bactérienne a été progressivement adaptée afin d'améliorer sa tolérance au cuivre. Une telle adaptation a été réalisée par des repiquages successifs sur un substrat de chalcoppyrite, au cours desquels on a augmenté progressivement et artificiellement les concentrations du cuivre en solution. Une
25 telle adaptation a permis de rendre ces bactéries capables de se développer dans des milieux dont la concentration en cuivre est de l'ordre de 50 g/l.

Suivant l'invention les bactéries sont mises en culture dans des réacteurs 1 agités et aérés et qui sont alimentés

1/1

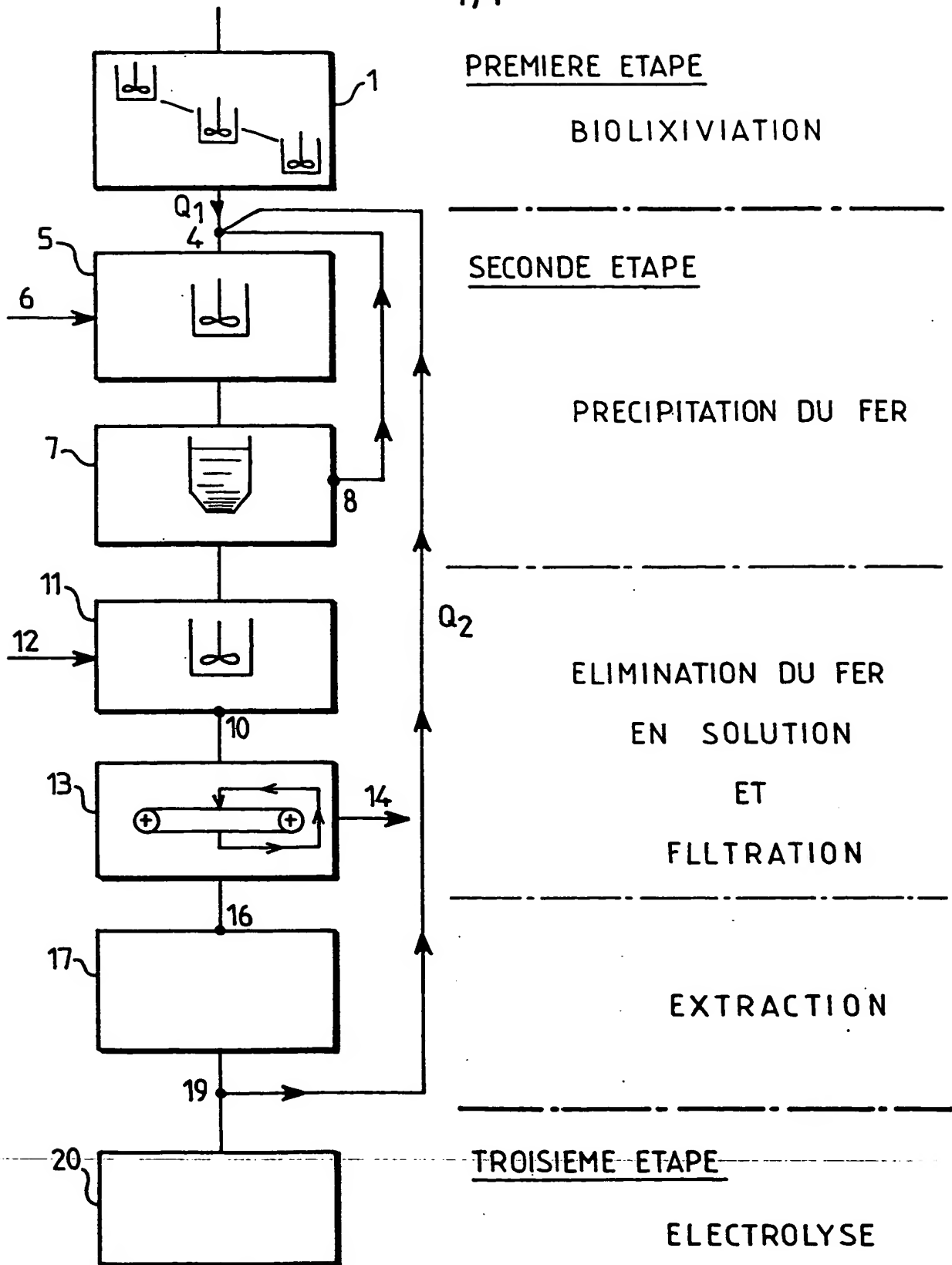


FIG.1